ISSN1346−7832

独立行政法人港湾空港技術研究所

# 港湾空港技術研究所報告

# REPORT OF THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

VOL.42 NO.1 March 2003

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN

INDEPENDENT ADMINISTRATIVE INSTITUTION,
PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

図書室 図書

港湾空港技術研究所報告（REPORT OF PARI）
第 42 巻　第 1 号（Vol. 42, No. 1），　2003年3月（March 2003）

# 目　　次（CONTENTS）

1. 透水層埋設による海浜安定化工法の開発
…柳嶋　慎一・佐藤　勝弘・原　隆・齋藤　正文・岩佐　直人・堀　謙吾・長谷川　巌
長谷川　準三 …… 1

(Development of Beach Stabilization by Gravity Drainage System
… Shin-ichi YANAGISHIMA, Katsuhiro SATO, Takashi HARA, Masafumi SAITO, Naoto IWASA, Kengo HORI
Iwao HASEGAWA, Junzo HASEGAWA)

2. 沿岸域の高粘度油高濃度回収システムの研究開発
…… 吉江　宗生・佐藤　栄治・白井　一洋 …… 115

(Study and development of oil recovery system at the site of coastal shallow water with a skimmer and hoses for special high viscous oil
…… Muneo YOSHIE, Eiji SATO, Kazuhiro SHIRAI)

3. 半経験的な強震動予測手法の改良に関する提案
…… 野津　厚・深澤　清尊・佐藤　陽子・菅野　高弘 …… 139

(Modification of the Empirical Green's Function Method
…… Atsushi NOZU, Kiyotaka FUKAZAWA, Yoko SATO, Takahiro SUGANO)

4. サクション基礎構造物の安定性に関する模型実験
…… 山崎　浩之・森川　嘉之・小池　二三勝・出野　雅和・矢沢　岳 …… 167

(Model Tests of Suction Foundations for Stability
…… Hiroyuki YAMAZAKI, Yoshiyuki MORIKAWA, Fumikatsu KOIKE, Masakazu IDENO, Gaku YAZAWA)

港湾空港技術研究所報告
第42巻1号（2003.3）

# 沿岸域の高粘度油高濃度回収システムの研究開発

吉江　宗生*・佐藤　栄治**・白井　一洋***

## 要　旨

本研究では50万cP程度の高粘度油を対象とした，回収時の油水中の水分の割合が少ない回収システムを開発した．また，重機および回収船が入込めないためほとんど人力作業になった海岸の水深50cm程度の浅海域に対応したシステムとした．

本研究では海面上の油を集め，掬い上げ，水を切って浜辺へ運び，陸上のピットやドラム缶などまで排送するまでを機械的なシステムとして開発した．このため，オイルブームと独自のかき寄せ機構による集油機構，目合いの大きなネットによる軽量で高濃度の油水を掬えるスキマー，高粘度油を詰まらずに遠距離を排送できるように工夫した排送機構からなるシステムとなっており，スキマー単体の開発や排送ポンプ単体の開発では得られないロジスティクスの整合性を持っている．

本研究により独自に開発されたプロトタイプのシステムにより，粘度50万cPを超えるエマルジョン化した高粘度油が海岸付近に浮流した際に，1機あたり150人分の回収作業を10人の作業員で機動的に代行できることを実証した．またこの際，独自のレーキ式かき寄せ装置がスキマーの能力を画期的に高める効果が認められた．また，ネットコンベア式スキマーにより効率の高い油水分離が水上で行われ，給水弁の作用により水上からピットまで配管をつまらせることなく排送でき，このときの回収効率は約80%以上と高い水準を維持できることがわかった．

**キーワード**：油回収，ナホトカ号，流出油事故，オイルスキマー，高粘度油，浅海域

* 施工・制御技術部　施工技術研究室長
** 施工・制御技術部　施工技術研究室　研究官
*** 施工・制御技術部　主任研究官（計測システム）

〒239-0826　横須賀市長瀬3-1-1　独立行政法人　港湾空港技術研究所
電話：0468-44-5064　Fax：0468-44-0575　e-mail:yoshie@pari.go.jp

REPORT OF THE PORT AND
AIRPORT RESEARCH INSTITUTE
Vol. 41, No.3 (MARCH. 2003)

# Study and development of oil recovery system at the site of coastal shallow water with a skimmer and hoses for special high viscous oil

**Muneo YOSHIE***
**Eiji SATO****
**Kazuhiro SHIRAI*****

**Synopsis**

We developed an oil recovery system for high viscous oil (about 500,000 cP) and it can remove oil/water contains little water from the surface of seawater. The system can be operated at the site of that depth about 50cm water. When Russian tanker NAKHODKA oil spill occurred, they couldn't operate oil recovery ships and heavy machineries at such shallow water and depended on only manpower to remove high viscous oil from the beach.

We designed the system as a mechanical system collecting, skimming, separating, and transporting oil from water surface up to the pit, tank, or so on the land. The system consists of 3 equipments, a collecting oil mechanism with oil booms and an original mechanical rake, an oil skimming mechanism applied net conveyor, and a transportation system with original hoses that prevent being stopped up. The skimmer and a pump are separated in order to carry and launch it by manpower for its lightweight. The system is maintained its oil removing logistics because it is developed as whole system.

The developed original system prototype proved that the system can remove high viscous emulsified oil (over 500,000cP) as much as 150 people works at the beach. The system needs only 10 people. Its raking mechanism has much effect to the skimmer's efficiency. Its net conveyor separates surely water from oil/water and pour water valve works well to transport viscous oil through the hoses without being stopped up. The system remove the oil and keeps its recovery efficiency ( oil containment of oil/water ) at high level over 80%.

**Key Words**: oil recovery, NAKHODKA, oil spill incident, oil skimmer, high viscous oil, shallow water

* Head of Construction Equipment Division, Construction and Control Systems Department
** Researcher of Construction Equipment Division, Construction and Control Systems Department
*** Senior Researcher of Construction and Control Systems Department

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan
Phone : +81-468-445064 Fax : +81-468-440575 e-mail:yoshie@pari.go.jp

# 目　　次


要　旨 ……115

1. まえがき ……119

2. 研究開発されたシステムの特徴 ……119

3. 開発の条件と全体のコンセプト ……120
  3.1 対象とする油の性状 ……120
  3.2 対象とする現場の条件 ……120
  3.3 必要能力の算定 ……120
  3.4 システムの全体像 ……121

4. スキマー部と集油機構 ……122
  4.1 スキマー部 ……122
  4.2 集油機構 ……123

5. 排送機構 ……124
  5.1 吸引用ポンプの選択 ……124
  5.2 詰まり防止のための機構 ……124

6. 水槽実験 ……126
  6.1 ネットコンベア ……126
  6.2 集油機構を搭載した実験 ……127
  6.3 排送機構 ……129

7. 現地運用試験 ……130
  7.1 運用のコンセプト ……130
  7.2 実施概要 ……130
  7.3 実施内容 ……131
  7.4 運用試験の結果 ……134

8. 結論 ……134

あとがき ……136
謝辞 ……136
参考文献 ……136

## 1. まえがき

平成９年１月のロシア籍タンカー「ナホトカ号」重油流出事故では，地元住民やボランティアを含む多くの人員が海岸に漂着してしまった油の除去のために苦汁に満ちた作業を行った．回収油水の量は結果的にはこうした漂着油の回収作業による分が全体の 90% 1）を占めており，海象条件の厳しい中で沖合いでの回収が難しい現状を考慮すると，当然ながらこうした人手による海岸から浅海域までの回収作業の効率化を図る手段が必要である．

しかしながら，海岸付近にまで達した油は波による撹乱作用や風化2）により海水と混合してエマルジョン化しており，もとの重油の粘度と比較にならない高粘度となっている．また，漂流する間に多くのゴミが混合し更に海岸付近では砂や海草類が絡んで難しい物性を示すものとなる．こうした条件で油を回収するシステムは，現状では世界的にもほとんど考案されていない．

図－１　海岸に漂着する重油５）

また，油回収作業は，漂流油の囲い込み，集積，スキマーの投入，スキマーから陸上の仮設タンク等への排送，仮設タンクから処分地への配送，といった手順を踏んで行われるが，これらはロジスティクス的にすべて滞りなくできなければすべての作業が中断してしまう．しかし，現地で作業にあたる人員は特別に訓練された作業員が非常に少ないため，本格的なオイルフェンスの展張作業や囲い込み，既存の様々な機器の選択や転用，高粘度油への対処，ゴミへの対処等をケースバイケースで迅速に行うことを期待できない．更に，ひざ程度の水深での作業でも危険が伴うことから，機器を使用しない作業の効率性はごく低いものとなってしまう．

こうした状況を踏まえ，船舶の入れない水深の浅い沿岸域で，集油し，掬い上げ，陸上に配送する一貫したシステムを企図し，研究開発を行った．平成 10 年度から，スキマー部，かき寄せ装置，排送機構と各部の開発を行い，平成 12 年度には実海岸での搬入，設置，撤去実験及び水槽実験を行い，システムと運用マニュアルの完成をみた．

## 2. 研究開発されたシステムの特徴

通常開発されているスキマーは対象油の粘度をクラス分けし，クラスごとに対応している。しかしながらこのクラスにおいて，高粘度油は 170,000cP からとされており，本研究で主に対象とした 500,000cP 以上の粘度の油に当てはめることは難しい．本システムでは，数十万 cP 以上の高粘度油を回収できるものであり，回収油水中の余水の割合が非常に少ないにもかかわらず詰まることなく陸上のピットや一時貯蔵タンクに排送できるものである．

また，システム全体の現場での取扱性について考慮した結果，機器の各部は軽量小型化されており，重機を使用できない海岸においても人力で設置，展開，運用，撤収ができる機動力を備えたものとなった．

こうした本システムの特徴を列記すると以下のようになる．

1) 対象油の粘度は約 500,000cP で、約 300,000cP 以上から取扱える

2) スキマー部は長さ約 2.3m×幅約 1.4m，重量 130kg，とコンパクト，軽量で，喫水も約 20cm と浅い水深に対応し，進水時の人力の負担を軽減

3) かき寄せ装置により油水回収能力最大約 5m$^3$／h，定格能力 2.5m$^3$／h で，1 日最大 150 ドラム（6 時間運転），人力換算で 150 人分の能力を持つ．油取入れ口幅がスキマー部で 50cm と大きい．

4) 油水中の余水の割合は約 0～20%程度以下と高濃度な油水の回収が可能

5)吸引管側の詰まり防止機構により超高粘度にもかかわらず油の詰まりが起きない

6) チューブポンプの採用によりゴミに強く，圧送距離が長く，また，振動ふるいにより空き缶やペットボトル大の大きなゴミに対応

7) 詳細な取扱説明書（現地での運用マニュアル）により油回収のエキスパートでなくても工事会社等の作業員なら運用が可能

このようなさまざまな７つの特徴を持ち，海岸の水上から陸上の，たとえば道路そばの一時貯蔵ピットやタンクまでのロジスティクスの整合性を取って開発されたも

のである.

## 3. 開発の条件と全体のコンセプト

### 3.1 対象とする油の性状

一般的に，油流出事故においては風化やエマルジョン化による高粘度化が回収作業の問題点となる．高粘度化した油は薬剤が効きにくくなり，吸着材にも捕らえられにくくなる．また，回収機材は油が流動性を持つことを前提にしたものが多く，高粘度化が進むと対応しにくくなる．また，エマルジョン化した油は内部に海水を含んでおり，その体積は倍増する．したがって作業性及び回収後の処理量の問題を考慮すれば回収作業はできるだけ早く行わなければならない.

文献等3）によれば事故の際の粘度は123万cStにも達した.こうした油の性状は言葉で表すことは難しいが，事故が一段落した後の当研究室による現場ヒアリングおよびアンケートによれば，アスファルト，水飴，牛の糞，軟膏，といった回答であった．また，ゴミは流出油と同様に海岸付近まで常時流れていると考えられ，海岸付近ではこれに海藻類が多く加わる．実際に現地で採取した油には大量の海草やゴミが混入しており，ポンプによる排送をより困難にしている.

また，粘度の高い油は厚い油塊を形成する場合があり，ナホトカ号事故の際にも数十センチ単位の厚さになったことが確認されている．このため，一般的なスキマーでは回収口の小さいために油塊がつかえるなどの問題があった.

こうしたことから，対象とする油の条件は油層厚が厚く，且つ数十万cP以上の高粘度で海草等のゴミが混入していることを想定した.

### 3.2 対象とする現場の条件

水深の浅い沿岸では大きな船舶が立ち入ることができず，また，漂流油の漂着予想と実際に漂着するまでの時間の短さから，近傍まで資機材を運ぶ機動力は車両のほうが有利である．しかしながらこの場合，海岸から資機材を展開することとなるが，クレーン等の重機を乗り入れることは条件がそろわなければできない．砂浜の場合は，スキマーを進水させるためにはスキマーの喫水まで海岸から沖へ向かって出さなければならないが，このときも重機が使用できることは想定しにくい.

こうしたことから機材の搬入の観点からは，近傍の道路から海岸の作業現場まで想定される機動力はほとんど人力のみである．このため，装置の重量及びスキマーの喫水はこれらを条件として設計した．また，人力によるオペレーションを前提とするため，各部の軽量化を図ることとし，一般的にスキマー重量を増す原因となるポンプを分離した．この結果，吸引により高粘度油を砂浜まで排送するため，詰まりを防止する機構が特に必要となった.

油回収の専門家によるオペレーションを期待せず，工事作業員が運用できるように，機構は見た目にわかりやすく簡単で，危険な作業がないことを目標とした.

### 3.3 必要能力の算定

(1) 人力の換算 4)

作業を機械化・自動化するにあたっては，その能力が人力に明らかに勝るということが重要である.このため，海岸での漂着油の回収作業が，人一人あたりに換算してどの程度の能力になるか調査した.

まず，当所の職員によるナホトカ号事故における現場

表－1 回収量のドラム換算（石川県のデータ5）より算定)

| 市町村名 | 回収量(kl) | 換算ドラム | 従事者数(人) | 一人あたりの回収量(ドラム/人) |
|---|---|---|---|---|
| 珠洲市 | 4,835.2 | 24,176.0 | 35,219 | 0.69 |
| 輪島市 | 3,693.0 | 18,465.0 | 28,450 | 0.65 |
| 門前町 | 1,298.2 | 6,491.0 | 12,357 | 0.53 |
| 富来町 | 518.4 | 2,592.0 | 8,724 | 0.30 |
| 志賀町 | 301.9 | 1,509.5 | 6,540 | 0.23 |
| 羽咋市 | 185.7 | 928.5 | 10,576 | 0.09 |
| 志雄町 | 16.3 | 81.5 | 3,392 | 0.02 |
| 押水町 | 112.5 | 562.5 | 5,073 | 0.11 |
| 高松町 | 62.1 | 310.5 | 4,770 | 0.07 |
| 七塚町 | 83.6 | 418.0 | 5,186 | 0.08 |
| 宇ノ気町 | 53.0 | 265.0 | 3,135 | 0.08 |
| 内灘町 | 211.8 | 1,059.0 | 10,448 | 0.10 |
| 金沢市 | 194.8 | 974.0 | 14,063 | 0.07 |
| 松任市 | 107.0 | 535.0 | 8,310 | 0.06 |
| 美川町 | 40.8 | 204.0 | 2,795 | 0.07 |
| 根上町 | 50.2 | 251.0 | 8,575 | 0.03 |
| 小松市 | 18.5 | 92.5 | 4,471 | 0.02 |
| 加賀市 | 5,401.8 | 27,009.0 | 35,385 | 0.76 |
| 石川県 | 17,184.8 | 85,924.0 | 207,489 | 0.41 |

ヒアリングからの判断では，力の強い人が一生懸命働いても一人あたりの回収能力は1日ドラム缶1本である.

次に，現場での投入人員と回収量の関係から推算してみた．珠洲市発行のパンフレット５）に事故当時の詳細なデータが載っており，これを活用して試算した．石川県のデータ（表－1）では漂着油の総回収作業人員が約207,500人に対して，回収された漂着油は85,900ドラム（1ドラム200リットル）であるから，一人あたりドラム缶約半分に満たないことになる．ただし，これらのデータには海上回収分も含まれているものがあるようだが，漂流油の回収分は全体の17%に過ぎないので特に正確を期するほどのチェックはしていない．

また，珠洲市の1月13日から4月27日までの回収作業のデータからは，作業者の構成もわかるので興味深いが，これによる算定を試みたので紹介する．

**図－3**のデータからは一人あたりの回収量が1ドラムに達しなくても，人員の投入量を減らしていないことがわかる．すなわち，1人あたりの回収油量は1日0.5ドラム程度を目安に抑えたい．がんばって1ドラム，それ以上はオーバーロードで，2［ドラム／人］は限界値であると考えられる．

こうしたことから，海岸での一人あたりの漂着油回収能力は2［ドラム／人日］が限界と考えられる．通常の作業として捉えれば1［ドラム／人日］が最高値であり，災害現場での覚えやすさということも考慮して，本研究ではその能力の目安としての原単位を1［ドラム／人日］とした．これらに含まれる作業は，水面からの油の掬い上げ，バケツリレー等によるピットや道路上の運搬車までの排送，及びその他雑作業となる．

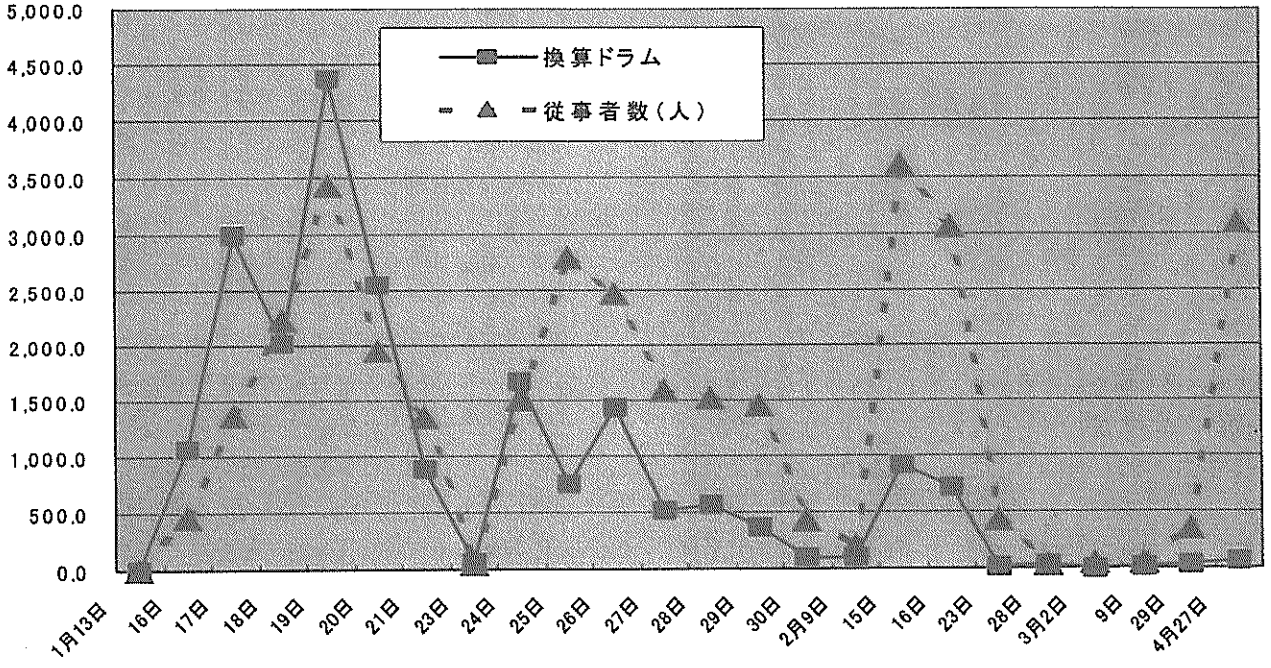
(2) 必要能力の設定

時間あたりの回収能力はできる限り大きく取れるよう努力しなければならない．1日当たりの一人の作業員が回収する油水量を1ドラム／人日とする．回収機材をオペレートするために必要な人員を15人と想定すると，15ドラム／日よりも明白に大きな能力が必要となる．人間の10倍を目標とすると，1日1台で150ドラム（30m$^3$，油層厚20cmで150m$^2$）となる．1日の稼働時間を6時間として，5m$^3$／h（油接触幅50cm，油層厚20cm，時間あたり回収面積25m$^2$）が能力の目標である．

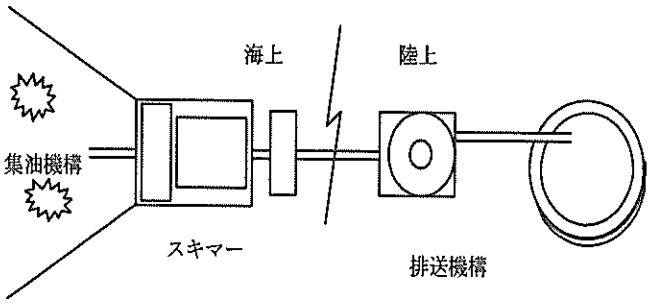
### 3.4 システムの全体像

回収システムは，1）漂流油を集積し掃海面積を稼ぐ集油機構，2）集油した高粘度油を掬い，油水分離を同時に行うスキマー，3）掬い取られた油を陸上あるいは道路上の仮設タンクやドラム缶に排送する排送機構，の３つの機構が連携して，オペレーターの簡便な補助により高効率で働くものである．また，各部材は集油ブーム，スキマー，排送ポンプ，排送管などに分離合体し，それぞれ適当な運搬補助具を付属すべきである（**図－4**）．

また，オペレーション面からは，専門家がいなくても機能が損なわれないこと，海岸用のボートが出せる状況の波の状況までは問題なく回収できることを前提とする．したがって，油回収地点に常に回収機を移動させて保持




**図－3** 従事者数と回収量のドラム換算（珠洲市データ５）から作成）




図－4　システム概念

することのみで回収作業が行われるような半自動的な動作環境を提供できるシステムとした．また，油の状態は50万cP程度の高粘度油に海藻等の繊維状のゴミが混じった状態とし，油塊が大きくなった場合にも対応できるように回収口を大きく設定した．

## 4. スキマー部と集油機構

### 4.1　スキマー部

(1) 原理の検討

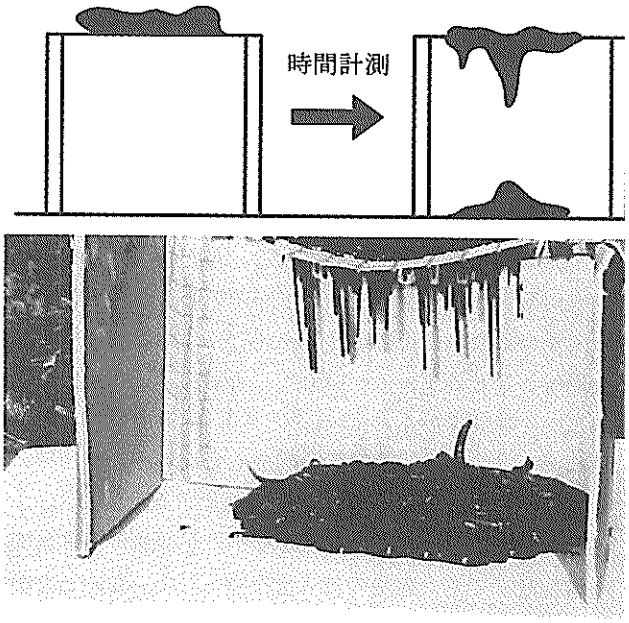
スキマーには油の物理的な性状を利用した様々な方式がある．せき式スキマーと呼ばれるものは，油の比重を利用し，せきを水面と油面ぎりぎりになるように調整して，乗り越えた油を回収するものである．吸着式は，油を吸着しやすい素材に油を吸着させてこれを搾り取るものである．付着式はドラムやディスク，あるいはブラシ表面に油を付着させてこれをかきとるものである．

原理上，付着式が最も高濃度の油水として回収が可能である．しかしながら，付着力を発生させるためには油表面に載った水膜が邪魔となる．また，ゴミが混じる場合にディスク式はこれを噛み込んでしまう．

ナホトカ号事故時には，ひしゃく，スコップ，などが人力回収の主役であった．これらは油と水の粘度の差を利用して油水を分離する作業である．原理としては付着式も有効であるが，粘着力と粘度の関係は不明であること，粘度がある程度以上高くなった場合には油塊が板状となってしまう現象もみられることから，粘着力ではなく掬い取ることを基本とし，油水分離の原理は水との大きな粘度差を利用することとした．

(2) 高粘度油の網透過実験

掬い上げる機構としてどのようなものがあるか検討した．ひしゃくの作業やグラブ船の作業を模するためには安定したプラットフォームが必要となる．また，これらの作業は常に油を狙うという高度な認知と制御を行う必要があり，システムとしては難しいものになる．そこで，ベルトコンベアを利用して，これに水切りの機能を付加することとした．すなわち，ベルトの代わりにネットを用いるネットコンベア式機構とした．




図－5　ネット透過実験

高粘度油がネットを透過しにくいことはこれまでにも研究されてきている3)，6)．また，回収資材として高粘度油回収ネットが各地の海上保安本部に配備されており，回収バッグの目合いは2～3mmである．しかし，回収の問題となるスキマーの反射波を少なくするためには，使用するネットの目合いはなるべく大きな方が良い．

そこで，水槽実験の前に，ネットの目合と粘度とコンベアの速度の関係を考察するために，簡易な実験を行った．箱にそれぞれの目合いのネットを張り，その上に3種類の粘度の油を載せ，油が網をくぐりぬけ始めるまでの時間を計測するものである．

この実験から，高粘度油は予想以上にネットを透過しにくいものであることが分かった．(図－5)

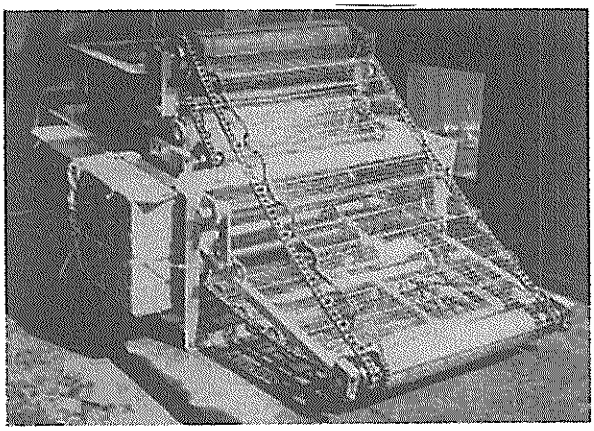
表－2　網透過時間計測値

| 目合い(mm) | 粘度(cP) 184,000 | 286,000 | 726,000 |
|---|---|---|---|
| 2.5 | 10秒以上 | 10秒以上 | 未計測 |
| 10.0 | 5.0 | 9.5 | 未計測 |
| 20.0 | 2.0 | 3.5 | 10秒以上 |
| 25.0 | 1秒以下 | 3.0 | 5.0 |
| | | | 計測単位:(秒) |

実験の結果（表－2）は，目合いが25mmという大きなものでも粘度が十分に高ければ使用できることを示している．また，粘度が低い場合には目合いを小さくすれば良いことがわかる．

(3) スキマーの構造

スキマーは浮力材と集油タンクの前面にネットコンベアを取りつけた形式をしている．ネットは漁網状の網を加工したものである．ネットの幅は50cmで，水上の油はネット上に乗り上げ，そのまま40cmほど上部に掬い上げられる．スキマーは水上に浮いており，ある程度の波に対しては追従できると考えられる．また，ネットにより水切りがなされるため，この時点で油水分離が完了し，その効率は高い．



図－6　スキマー部

スクレイパーはスポンジ状のドラムによる方式で，正逆回転が可能である．ネットの油は最上部でスクレイパーによりかきとられ，後部の貯油タンクに落としこまれる．

スキマーの動力は2個の油圧モーターによる．ネットコンベアとスクレイパーを駆動しており，動力源の油圧ユニットは陸上（渚）に置いてスキマー部の重量を軽減している．油圧ユニットによりコンベアの速度は連続的に変えることができ，その幅は5～40m/分となっている．

貯油タンクにはすのこ状のゴミ格子が設けられており，振動させることで油とともに載った大型ゴミを転がり落とし，ゴミ袋でキャッチするようになっている．タンクの底には排送管がつながっており，これも重量低減のため陸上（渚）に置いたポンプにより吸引，排送する．このように，スキマーの重量を増加させるポンプを分離することではじめて人力による移動が可能な重量を実現している．なお，スキマーのフレーム等の構造材はアルミ材を使用した．

スキマーは喫水が浅くかつ安定性が保たれるように浮体をフレームの両サイドに取り付け，この浮体部にネットコンベアと貯油タンクが取り付けられ，前方に後述するかき寄せ装置が取り付けられる．

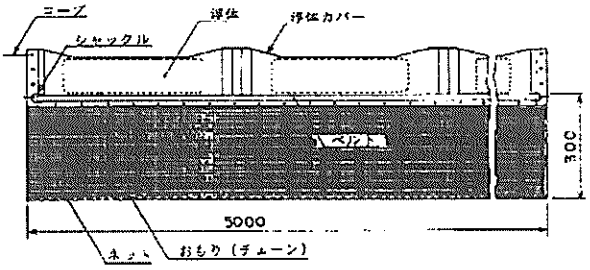
4.2　集油機構

(1) 集油フェンス

油回収機は油塊と遭遇する確率を高めないと効率的な回収ができない．漂流油は帯状あるいは数カ所の塊となって海岸に接近してくると考えられるが，これらをできる限り面的に捕らえるために集油機構が必要となる．このため，スキマー入り口から集油フェンスを展開するようになっている．

集油フェンスの展張形式はV字，J字等あり，いずれも油遭遇率を高め，油層厚を大きくするものである．J字展帳は非対称型に展張する必要があるため難しい。本システムでは集油フェンスの先端を広げ，油回収機に向けて序々に絞ったV字の形状とした．また，通常のオイルブームは使用せず，絞り込みにより水面が盛り上がるのを避け潮流等による引張力の発生を低減させるため，水中のカーテン部に透水性ネットフェンスを採用した．このため集油フェンスは，発泡材をターポリンで覆った浮体とネットカーテンで構成される独自のものとなった．

構造を図－7に示すが，浮体とネットの接合部に補強ベルトを配置し，ベルトの端部にロープを接続するためにシャックルが取り付けられている．なお，ネットを使用することについては充分な滞油性能を持つことが文献等2)，3）により確認されている．




図－7　透水性ネットフェンス

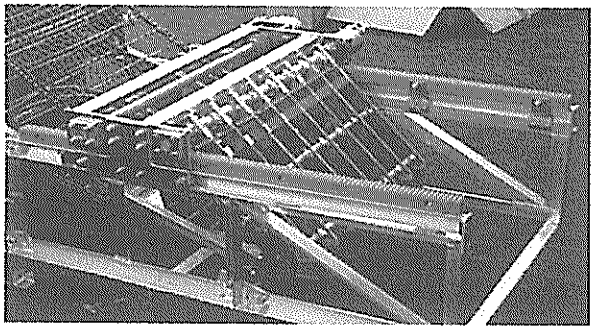
(2) かき寄せ装置

油回収機自体が波の反射や潮流の妨げとなって，浮流油がスキマーの油取り入れ口に近づかない現象が心配されたが，実際に平成10年度に実施した水槽実験において，ネットコンベア前面の油の挙動観察より，スキマーの反射波，ネットコンベアによる逆方向流の発生による阻害

が起きることから，何らかの積極的な集油装置が回収能力を高めるために必要なことが判明した．

集油機構は一般的に，水流による方式，スキマー後面からの吸引などの手法などの開発例がある．しかし，ナホトカ号回収現場では高粘度油が付着し合い，比較的大きな体積の厚いマッスとなることがあり，この場合油の重量が大きくなって，水流の量が少ない場合には効果が疑問である．また，付着しあった油塊が集油フェンス間に橋状に付着するとこれが障害となって流れが阻害される．このため，直接的にかきよせる装置の方が良いものと判断した．掻き寄せ装置はレーキ式（熊手式）とし，レーキの回転と走行動作の組み合わせにより油を掻き寄せる方式を採用した．

レーキは油回収装置のフレーム上を前後に移動する走行台に油圧トルクモータにより回転する軸を介して取り付けられている．走行台は油圧モータにより駆動されるピニオンによりフレーム上に固定されたラックと噛み合って移動する．かき寄せ動作は定期的な自動運転と，様子を見ながら行うマニュアル運転が可能である．



図－８　かき寄せ機構

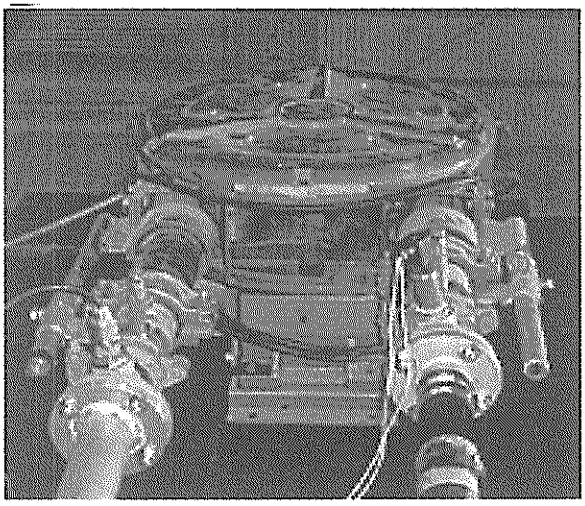
## 5. 排送機構

### 5.1 吸引用ポンプの選択

ネットコンベアにより回収された油をゴミ除去装置を介していったん回収油タンクに受け，ある程度の押し込み圧力を持たせたうえ陸上に設置したポンプにより吸引する方式とした．これはスキマー部の重量軽減のため及びポンプの故障の際は現地でポンプのみ交換できるためである．

スキマー部の油受けから一時貯油漕まで排送する機構に使用するポンプは，ナホトカ号事故の実績及び海外の事例を参考に検討した．現場では専門家がオペレーションにかかわるとは限らないため，操作上のロバスト性が高いことが条件のひとつになる．検討の結果，チューブポンプを選定した．**図－9** に外形図を示す．主要目から分かるように吐出圧力が極めて大きい．吸引力は真空ポンプ等と同様であり，特筆すべきものではないが，異物に対する許容度合が大きくコンクリートや泥土の圧送に使われている．また，カラ運転しても問題なく，操作性が良い．また，故障の際にも一般的なポンプであるため現地で調達できる可能性も高く，本システムを使用するとき以外は別用に活用することもできるため，コスト的に有利である．

| | |
|---|---|
| 型　　式 | 電動チューブポンプ |
| 吐 出 量 | 最大 5．2m³／hr（50rpm にて） |
| 口　　径 | 50mm |
| 吐出圧力 | 5kgf/cm² |
| 吸入負圧 | 760mmHg |
| 電 動 機 | 全閉外扇屋外形インバータモータ<br>ＡＣ200V，3 相，3．7kW，<br>最大電流 14．9A |
| 重　　量 | 210kg |



図－９　採用したチューブポンプ

なお，チューブポンプは本システム上での適性に優れているが，単体では数十万 cP の高粘度の油に対する特段の詰まり防止策はなされていない．このため排送機構の管路のどこかで詰まりを起こした場合，システム全体が止まってしまうことから，詰まり防止のための機構が別途必要である．経験上，どのポンプを使うか，という選択だけではこの問題は解決できない．

### 5.2 詰まり防止のための機構

(1) 高粘度油の排送状況

高粘度油を排送するにあたって，管壁の摩擦等による圧力損失で排送（吸引）距離が決まると考え，50 万 cP の油の吸引可能距離を以下の（１）式にて算定すると 2cm

となり，このままでは実用にならない．

$$\Delta P = \frac{cv^2}{2gD} l + h \quad \cdots (1)$$

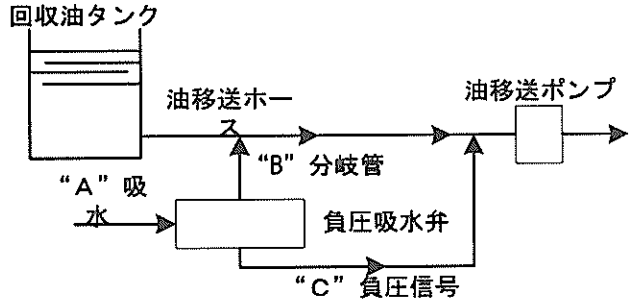
$\Delta P$：圧力損失[m]　10[m]
$h$：高低差　[m]　1[m]
$l$：吸引可能距離[m]　0.02[m]
$V$：流速　流量5[$m^3/h$]より0.71[$m^3/s$]
$D$：管径　0.05[m]
$c$：抵抗係数　($c = \frac{64n}{vD}$　$n$＝粘度0.5[$m^2/s$])

しかし，ナホトカ号回収現場での実際の使用にあたっては，水の混入により，吸引距離を伸ばすことが可能であることが確認されており，ある程度の水の混入を行えばみかけの粘度を下げられ，抵抗係数が小さくなるためであると考えられる．実際，実験においても計算上は吸引できない数十万cPの油でも，チューブポンプのみで移送が可能であり，これは，移送ホース出口の油吐出状況の観察から，油表面に水膜が形成されるためと推定される．

このため，管内の油に給水することによってホースの閉塞を防ぐこととした．しかしながら，回収効率を稼ぐため混入水量は最低限とすべきであり，そのための機構が必要である．なお，排水長さは水上のスキマーの取り回しを考えて吸引側ホース長さを１０ｍとし，吐出圧力が高いことから吐出側ホースを３０ｍとしてその後の設計を行った．

(2) 負圧吸水弁の設置

回収油の粘度が高くポンプ吸引側の油移送ホースが閉塞する兆候は吸引負圧が急に高まることで予測できる．このためポンプの吸引負圧を検知して，ある値を超えた時に吸水する装置を装備することとした．油移送ポンプの吸引側の負圧が上昇したときに油移送ホースに自動的に注水するための弁である．**図－10**に負圧吸水弁の接続方法を示す．




**図－10**　負圧給水弁作動原理図

負圧吸水弁の作動原理は，吸水口の弁の開閉を“C”の負圧信号によって行い“B”の分岐管へ導水するもので，“B”の圧力$P_B$と“C”の圧力$P_C$をスプリングによりバランスをとってある一定の$P_B$と$P_C$の差が生じた時に，弁が開くようになっている．この機構はセンサーによる電磁弁の作動といったものとは異なるきわめてシンプルな機構となっている．

(3) 高圧注水装置（エゼクター）

回収油タンク内の油吸引口付近に高圧水を注水する装置を装備した．本装置はタンク内の油を強力に吸引するエゼクター効果とチューブポンプの吸引を補助する効果を狙ったものである．万一ホースが閉塞した場合でもこの装置により復帰できる可能性が高いほか，ホース内を洗浄するために便利な機構である．ただし，大量の水を注入することになるため，通常の運転時には使用しない．

主要目は次の通りである．

| | |
|---|---|
| 油吸引口径 | 44mm |
| 水噴射ノズル径 | 2.4mm |
| 高圧水量 | 32 *l*／分 |
| 水　圧 | 50kg/cm$^2$ |

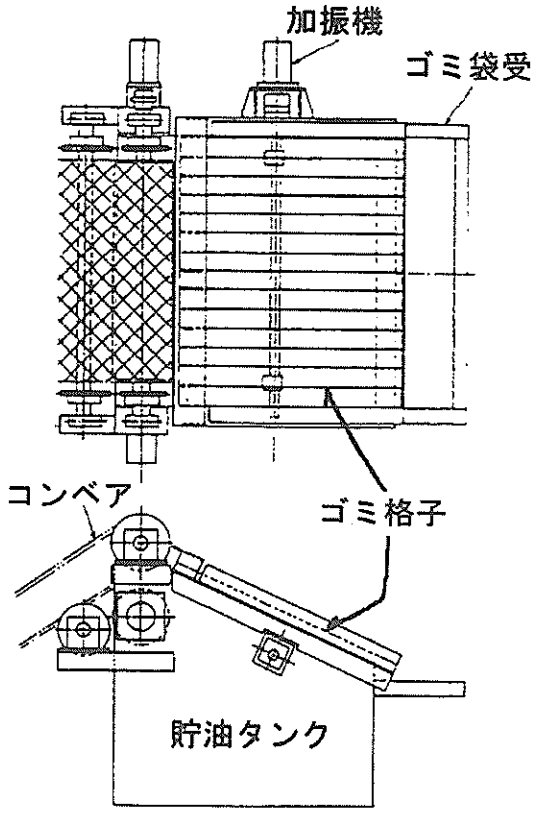
現地では万一システムが閉塞した場合に一刻も早い復帰が望まれるが，復帰のために他の装置が必要となるような場合はその日の復帰が不可能になって回収機会を逃す可能性が高い．本システムではこうした詰まり防止装置に加えた高圧注水装置により閉塞時にも迅速な復帰を可能とするものである．

(4) ゴミ対策

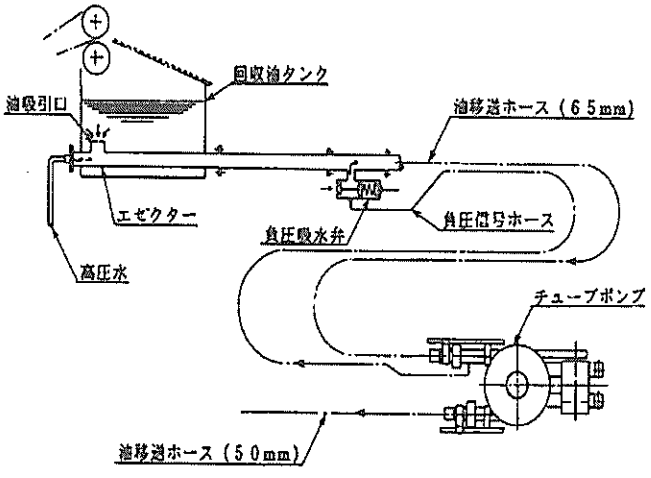
油は漂着するまでに海面に浮いているゴミを絡めてしまう．漂着の多い海岸は元々ペットボトルのようなゴミが集まりやすいところでもある．これらのゴミが排送管を詰まらせる事態を防止する必要がある．管内にごみをかんでしまった場合の閉塞からの復帰は非常に困難である．

ゴミ対策としてはカッターを装備する回収システムも見受けられるが，機構が複雑になるとともに軽量化しにくい．本システムではすのこ状の格子で分離することとした（**図－11**）．チューブポンプはコンクリートポンプとして使われるように，管径より小さなゴミならほぼ問題がないため，こうした簡便な装置で十分である．

すのこは振動ふるいとして，油とゴミとの分離を促進するものである．分離され転がり落ちたゴミは後部のゴミ袋受に入るようにしている．




図－11　ゴミ対策の各機構




図－12　排送機構関係図

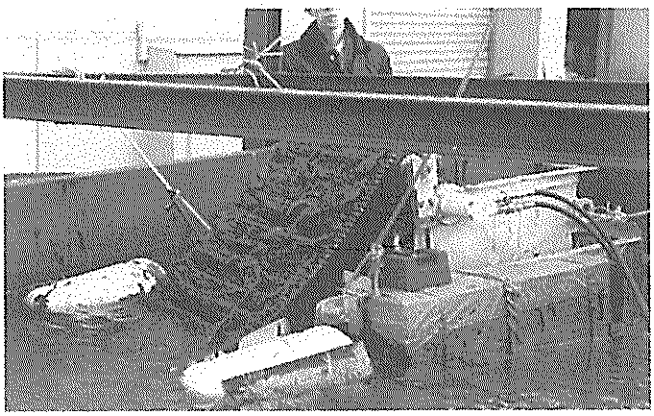
なお，図－12に排送関係の機構図を示す．回収油タンクに入る前に振動ふるいでペットボトル等の大型ゴミは除かれ，タンクに入った油水は吸引口から管に入るが，そのままでは粘度が高すぎて詰まりがおきる恐れがある場合，ポンプの負圧が上昇して自動的に弁が開き，海水が管内に注水されつまりを防止する．

## 6. 水槽実験

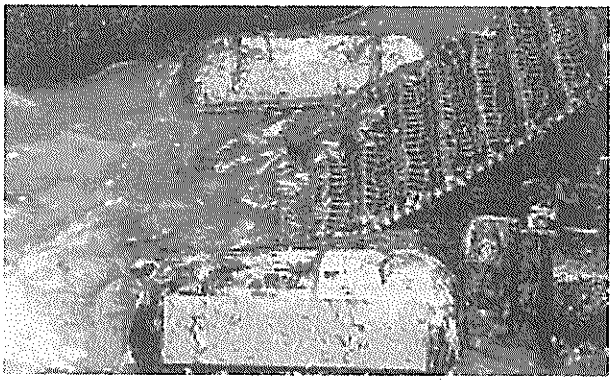
### 6.1 ネットコンベア

(1) 実験手法

実験は模型を水槽にロープ等によって固定し，模型に対して簡便な造波装置による波とスクリューによるわずかな流れを起こして，主に高粘度油とスキマーの挙動，網目合いの影響，スクレイパーの状況を観察することを目的とした．なお，集油機構は取り付けず，ネットコンベアの挙動を観察した．(図－13～16)

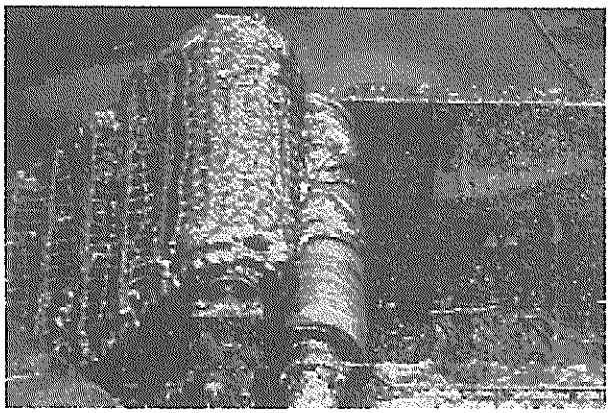


図－13　ネットコンベア水槽実験



図－14　コンベアに掬われる高粘度油

供試油はC重油と水を撹拌しエマルジョン化させることによって高粘度としたものを用いた．粘度の調整は難しいため，実験は50万cPクラス，25万cPクラス，10



図－15　スクレイパーによる搾り取り

図－16　供試油：C重油を水と拡販してエマルジョン化し，粘度約５０万cPに調整

(2) 結果と考察

実験は状況を観察しながらケースを変えて行った．その結果を表－3に示す．

全般的には，25㎜といった非常に大きい目合であっても油が網を透過することはほとんどなく，問題はむしろ網の目詰まりであった．目合いを大きくするにしたがって目詰まりが減少し，水の透過がよくなるため波の反射がなくなって油がネット上に良く載るようになった．スクレイパーは粘度が高い場合には効果がよく認められた．

コンベアの速度は，速いと前面の水をかきあげたり，外向きの流れを起こしたりするため，油がネットに載りにくくなる．ただし遅すぎるとネットから油が漏れてしまうので，実験では20m／S程度に設定することで，この影響を抑えることができた．

したがって，10万～50万cPクラスの油回収の場合，網目合いを 20～25㎜，コンベア速度を20m／S以下と設定することで十分に有効な回収作業ができることが分かった．また，ネットによる油水分離は想定どおりうまく働き，水面の油を余水がほとんど加わらない高濃度の状態で掬い取ることに成功した．

表－3　油回収実験結果

| 粘度 (cP) | 目合 (mm) | 網速度 (m/min) | 状況 |
|---|---|---|---|
| 50万 | 2.5 | 15.0 | 網の問題水の透過性が小さいため反射が起きる |
| | 10.0 | 40.0 | 網前面に波と反対方向の流れが生じて油を押しやる |
| | | 30.0 | 網の前面に水流の乱れがある |
| | | 20.0 | 油がよく回収される |
| | | 10.0 | 油はよく回収される |
| | 25.0 | 25.0 | 水の透過性がよいため前面の水流の乱れが少なく油は回収できる |
| | | 15.0 | 水流の乱れはなく油がよく回収される |
| | | 5.0 | スクレイパーの効果が顕著である |
| 25万 | 25.0 | 15.0 | 油はよく回収される |
| 10万 | 25.0 | 15.0 | スクレイパーが油を巻き込んでしまいがちである |

## 6.2 集油機構を搭載した実験

(1) 水槽実験の概要

約10m×4m，深さ約1.2mの平面水槽で，波高5～10cm，周期1.7Sの波をスキマーに対して直角にかけ，約46万cPに調整したC重油を用いた実験を行った（図－17）．供試油は集油フェンス内側の水面全面を覆うように十分な量を散布した．

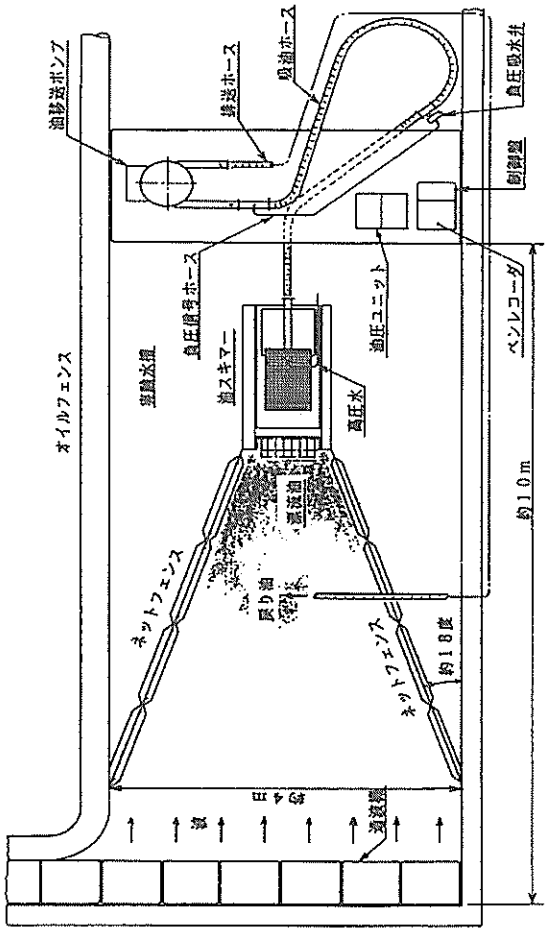
実験は表－4に示すような波，レーキ作動サイクル，コンベア速度，ポンプ吐出量の組み合わせによった．なお，波高15cmのケースは，波高によるスキマーの挙動を観察するために行った．その結果十分な安定性を示した．

(2) 実験の結果と考察

スキマー取入れ口前面にV字に展張した独自の集油フェンスにより浮流油は問題なく集積されることが判明し

表－4 実験パラメータ

| 波高cm×周期sec | レーキ作動サイクル C/min | コンベア速度 m／min | ポンプ吐出量$m^3$/h |
|---|---|---|---|
| 5×1.7 | 3 | 10 | 1.7 |
| 10×1.7 | 6 | 20 | 3.3 |
| 15×1.7 | 9 | | 5.0 |




図－17　実験水槽及び配置

表－5 ＜油粘度　４６万 cP,　２０S 間計量＞

| case | 1 | 2* | 3 | 4* |
|---|---|---|---|---|
| レーキ速度 c/min | 9 | 6 | 4 | 6 |
| コンベア速度 m/min | 20 | 20 | 20 | 10 |
| 回収油水量 リットル | 30 | 22 | 13 | 23 |
| 回収油量 リットル | 24 | 18 | 10 | 18 |
| 回収水量 リットル | 6 | 4 | 3 | 5 |
| 回収水量率 % | 20 | 18 | 23 | 22 |
| 回収油水量 $m^3/h$ | 5.4 | 4.0 | 2.3 | 4.1 |

注:Case2＊と 4＊はネットコンベア上の油が回収油タンクに落下した後，油をレーキでネット上に掻上げる断続運転

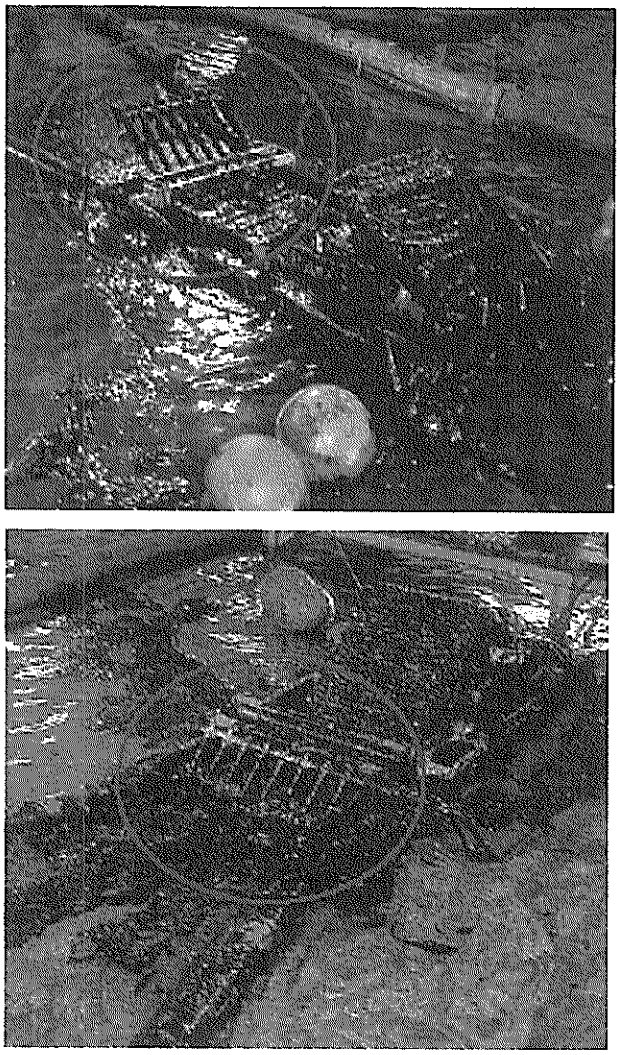
た．フェンスのカーテン部は目合 10mm のネットである

が，波浪中でも油の漏れはなく，また集積部における水面の盛り上がりもない良好な状態であった．

回収油量はかき寄せ装置の頻度（速度）に支配されることとなり，極めて有効な装置であることがわかった．漂流油はレーキによって手繰り寄せられ，さらにネットに押し付けられることで確実にネット上に捕捉され，掬い上げられることが観察された（図－18）．

また，回収できた油水の最大値は 20 秒間の計量で 30 リットルに達し，1 時間あたりに換算すれば 5.4$m^3$／h となり，想定の能力を持つことを実証した（表－5）．

波なしで実験した場合には，ネットコンベアの動きにより装置前面に漂着した油を沖側に押し戻す伴流が発生し，掻き寄せレーキの作動範囲外まで油が押し戻される状況が見られたが，波（波高 10cm，周期 1.7S）ありの場合，油は掻き寄せレーキの作動範囲内まで接近し，かき寄せに大きな支障はみられなかった．これは伴流による力よりも波による浮流挙動の方が勝っていたためと考えられる．なお，波高 15cm とした場合について，回収



図－18　かき寄せ装置の効果

装置は大きく動揺するものの，回収作業には支障なかった．

本システムは波に向かって設置するか，あるいは徐々に油に向かって前進させながら使用するものである．波のない場合に備えて，先端のノズルから噴射する水流によってスキマー入り口付近まで油を流し込む手法を取り入れてあるが，次に述べる独自の排送機構を装備した実験で比較している．その結果は表－8 のとおり単純な噴射では水流の効果が弱く，今後他の手法も含めて改良する余地がある．

### 6.3 排送機構

(1) 詰まり防止策

50 万 cP もの高粘度になった油は，ポンプの管路を簡単に詰まらせてしまう．特に吸引側は大気圧以上の圧力を出すことができないため，管壁と油の摩擦損失で簡単に閉塞を起こしてしまう．しかしながら，現場においては吸引口を保持する専門の作業員が油と海水と空気を経験的に適度に混合することによって，海岸のピットに貯蔵された高粘度油を移送することができた．このため，詰まり防止として負圧給水弁により注水する方法，空気を混入する方法を比較した．また，現地ではジェットポンプは詰まりを起こさなかったことから，ジェット水によるアシストの効果について検討した．

(2) 吸引の実験結果

スキマーの回収油タンクに回収された油を内径 63.5mm，長さ 10m の吸引ホースを通して表－６に示す 4 種類の方法でチューブポンプにて吸引し，吸引圧力，ポンプ吐出油の性状を調査した．なお，表中の回収水量率は，回収された油水の状態の見掛け上の含水率であり，ムース化し油と一体となった分は含まない．

表－６　手法別吸引実験

＜油粘度 88 万 cP，負圧吸水弁作動点；0.6kgf/cm$^2$，吸引ポンプ：5.2 ミリ $^3$/h＞

| case | 吸引方法 | 吸引圧 kgf/cm$^2$ | 回収水量率% |
|---|---|---|---|
| 1 | 負圧給水弁不作動 | −0.6 | 20 |
| 2 | 負圧給水弁作動(空気吸引) | −0.5 | 20 |
| 3 | 負圧給水弁作動(注水) | −0.3 | 40 |
| 4 | 水ジェット | 0 | 60 |

注水による効果が非常に大きいことが表から読み取れる．特に水ジェットにより積極的に注水した場合，60%の水量率となるが，閉塞傾向は全くなくなる．閉塞を防ぐ目的からは，負圧給水弁で十分な効果があることがわかる．なお，空気吸引の場合も効果が認められるが，この実験ではネットコンベア上で油塊の上に載っていた水や油層内に閉じ込められていた水と考えられる余水が 20%あると考えられるため，不明確な結果となった．

(3) 排送実験の結果

ポンプの能力を変化させ，そのときの吸引圧及び吐出圧を計測し，合計 40m の排送距離で実験した．吸引管路長 10m（内径 63.5mm），吐出管路長 30m（内径 50mm）（吐出管先端は油回収装置前方に戻し，回収装置手前の水面に油が投入される様にセットし，連続運転可能な状態とした）油回収実験の波の条件は，波高 10cm（周期 1.7S）である（表－7）．

表－7　圧力損失の計測

＜油粘度；86 万 cP，波高 10cm，周期 1.7s ＞

| case | ポンプ能力 m$^3$/h | 吸引圧力 kgf/cm$^2$ | 吐出圧力 kgf/cm$^2$ |
|---|---|---|---|
| 1 | 5 | −0.65 | 0.65 |
| 2 | 3.3 | −0.55 | 0.55 |
| 3* | 1.7 | −0.42 | 計測せず |

*注；Case3 は吐出管路長５m（他は３０m）

結果は，ポンプ能力を最大にしても，吸引圧は限界内に抑制でき，閉塞を防ぐことができることがわかった．

しかしながら，運転を中断し，再開すると吸引負圧が増加して吸引不能となった．この時，水ジェットにより吸引アシストを行った結果，吸引可能な程度まで負圧を減少させる事ができた．但し，かなりの時間を要する．

(4) 回収水量率

本研究では平成 11 年度に最初の総合的な水槽実験（かき寄せ装置および排送機構装備）を行い，その結果から各部の改良を行ったモデルで平成12年度に2回目の総合水槽実験を行っている．回収水量率についてはこれらの実験の比較により考察した．

平成 11 年度の実験（表－5）では，20%程度の余水を伴って油水の回収が排送管（吸引長さ 10m）を詰まらせることなく可能であった．

平成 12 年度では排送機構の負圧給水弁給水位置をより油タンク側（上流）へ変更した．また，油タンク内取入れ口の変更等若干の改造を加えて実験を行った．約 10m×4m，深さ約 1.2m の平成 11 年度と同じ平面水槽（図

－19）で，造波装置により波高 20cm，周期 2.0S の波を回収機に直角にかけ，約 650,000cP に調整したC重油を回収した．

結果は，回収水量率がわずか6%以下というもので，

表－8　回収水量率

＜油粘度６５万 cP＞

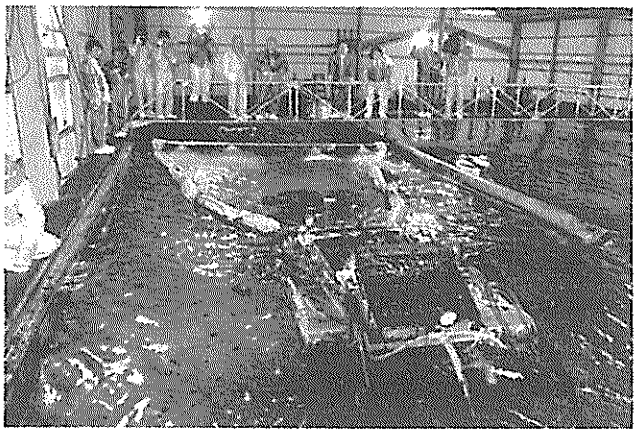
| case | A | B | C |
|---|---|---|---|
| 波 | なし | あり | あり |
| 水流(集油) | あり | なし | あり |
| 回収油水量 ($m^3/h$) | 0.9 | 2.4 | 2.3 |
| 回収水量率 (%) | 6 | 1 | 測定不能 |
| 吸引圧(kgf/$cm^2$) | −0.4〜−0.6 | −0.4〜−0.6 | −0.4〜−0.6 |

極めて高濃度の油水を詰まることなく排送できることが実証できた（表－8）．また，吸引圧は－0.4～－0.6kg／$cm^2$の間で安定しており，負圧給水弁が効果的に働いたことを証明した．

(5) ゴミ除去装置の効果

ネットコンベアで回収された油に混入するゴミ（各種異物）を除去するため，回収油タンク上にゴミ除去格子がある．

篩振動効果を調査するため，ゴミ（ペットボトル，空き缶，ヒモ）混じりの油回収実験を実施し，篩振動＜あり／なし＞の場合の篩上の油の挙動を比較した．



図－19　平成 12 年度水槽実験状況

実験の結果，回収油とゴミの篩い分けについては，篩振動なしの場合，ゴミは油の粘着力のため篩上で殆ど動かなかったが，加振すると，ペットボトルと空き缶は傾斜した格子上を滑り落ち，水面に落下した．但しヒモは殆ど動かなかった．また，篩上の高粘度の回収油挙動には大きな差はみられなかったが，加振した場合に油は幾分早めに篩下に落下した．格子面積は十分余裕があり，油は格子面積の上半分程度で透過していた．

## 7. 現地運用試験

### 7.1 運用のコンセプト

実際の現場での搬入，組立，進水，撤去がスムーズに行えるという本システムのコンセプトは，システム開発にあたって最も重要なものと位置付けである．どのような優秀な機器も，現場への搬入が不可能では使用できない．予め専用の船によるオペレーションを前提にして製作されたシステムでは，その船の有無で使用の可否が決まり，さらに，現場水深が浅かったり，岩礁の入り組んだ海岸であれば使用できない．また，船に取り付けたものは船の速度でしか現地まで移動できない．

本システムは各部ごとのブロックの接続で全体システムが構築される方式であるため，分割してトラックにて陸上輸送可能である．このため道路のあるところならばごく近傍まですばやく運搬できる．さらに，各部の重量が比較的軽量で喫水が 20cm と小さいため，クレーンに頼らず人力で海岸から進水できる．

また，実際の現地では専門家の数は少なく，わかりやすいマニュアルの整備[7]とともに，機器の働きについて直感的に理解できることも必要な条件である．本システムではスキマー部はオープンなコンベアとなっており，前面に滞留する油をレーキがかき寄せるという，人間の作業をほぼそのまま機械動作に置き換えたロボットであるため，誰が見ても油が掬われ回収されていくあらましを理解しやすいものとなっている．したがって，トラブルが起きそうな部分についてはすぐに人力による補助を現場で思いつくことができる．これに対して，ポンプや排送管の詰まりに関しては，一見してその原因を探ることは不可能である．このため本システムでは詰まり防止の機構が設けられている．その他，マニュアルでは現地の状況に応じた対応策についての例を掲載し，役立つように配慮した．

このように本システムでは「人力による機動性」を発揮できるような取扱性と，回収機構の明瞭さを運用のコンセプトとしている．

### 7.2 実施概要

こうした「人力による機動性」を確認するため，平成 12 年 9 月に新潟市栄町地先海岸にて設置，撤去試験を行

った.

高粘度油が海岸に漂着したことを想定し，最寄の道路までトラックで機材を陸上輸送し，すみやかに機材を油回収態勢まで展開するものである．試験は主に機材のハンドリング評価を目的とし，作業に携わった人たちからアンケート調査を行った．また，各作業ステップの所要時間の記録を取り，特に問題になるステップがないかどうか確認した.作業は使用機材に対して精通しない者(工事会社)を選んで行った.

### 7.3 実施内容

(1) 搬入機材及び人員配置

現地搬入機材のリストは以下のようである.

- 集油フェンス（5m×2，水噴射ホース付属）
- 浮体（1基，スキマーと合体させる）
- 油スキマー（1台）
- 油移送ポンプ（1台）
- 油圧パワーユニット（2台）
- 電気制御盤（1面）
- 機器台（2個）
- 油吸引ホース（10m）
- 回収油移送ホース（10m）
- 集油用水噴射ポンプ（70L／min.　1台）
- エンジン発電機（35kva以上，1台）
- 不整地運搬車(荷台寸法1m×1.5m，搭載能力500kg)
- クレーンつき4tトラック（機材運搬用1両）
- モーターボート（1隻）
- ロープ，ウエイト類（1式）
- ローラーコンベア（2本）
- 足場板（4本）
- 電気ケーブル（1式）

また，実験要員として下記のような構成とした.

- 全体指揮者（1名）
- 記録係（1名）
- 作業指揮者（1名）
- トラック運転者（1名）
- 不整地運搬車運転手（1名）
- モーターボート操縦士（1名）
- 発電機及びポンプ運転者（1名）
- 作業員（2名）

この際，人員については油回収作業の専門家を避け，地元の工事会社に依頼した．資機材の不整地運搬車は，工事現場等に一般的に使用されているものであり，入手しやすいことから，浜辺の水平移動用に採用した．マニュアルについてもこうした資機材について掲載し，使用を勧奨している．なお，現地の資機材の配置は図－20のとおりである.

(2) 現地でのシステムの展開方法

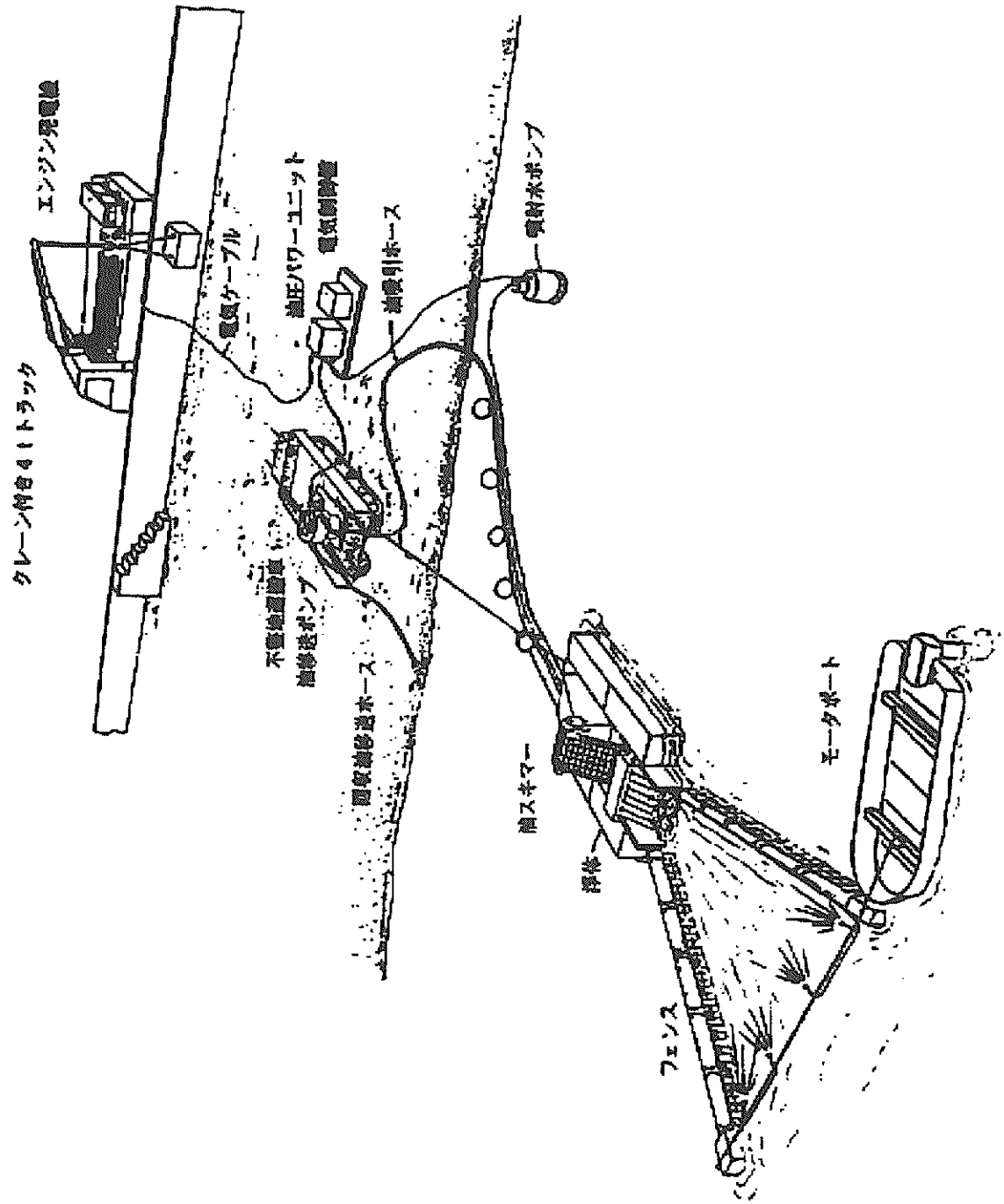
本システムはトラックにて現場に急送できることを前提としている．現地ではトラックを海岸に近接する道路に駐車し，この時点から各種のタイム計測を行った．トラックの駐車地点からスキマーの進水地点までの距離は約30mで，この区間について重量物は不整地運搬車で，その他のものは人力で運搬した．詳細な作業手順は以下のとおりである（図－21).

①集油フェンス,独立浮体,及びパイプを水際まで運ぶ.水際にウエイトを置き，ボートから投げたロープを縛り付けておく.
②フェンスの開口幅を決めるために独立浮体2個をパイプの両端に縛り付け，そのパイプの両端にフェンスの先端を縛り付ける.
③ボートから2本のロープを集油フェンスの先端へ結びつける.
④海岸に油スキマーを進水させるためのローラーコンベア及び足場板を敷く.
⑤足場板の上で油スキマーを組み立てる.
⑥油スキマーの後端にロープを結びつけ，その端をウエイトに預けておく.
⑦油スキマーに油移送ホースを接続する．ボートで集油フェンスを引くとともに，陸側から油スキマーを押し出す.
⑧ボートを移動して集油フェンスをハンドリングしやすい位置につける.
⑨油移送ポンプを不整地運搬車に搭載して水際へ運び，ホースを接続する.
⑩ポンプ，制御盤及び発電機間の配線を行う.

(3) 撤収作業

撤収作業は基本的には展開作業の逆工程である．実際の現場では資機材に付着してしまった油の洗浄作業が重要であるが，今回の実験ではそこまで再現することは見送っている．工程は下記のとおりである.

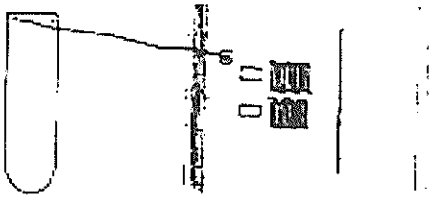
①電気ケーブルの結線をはずし，束ねる.
②油移送ホース，油圧ホースの接続をはずし束ねる.
③油移送ポンプ，油圧パワーユニット，制御盤を灯油を



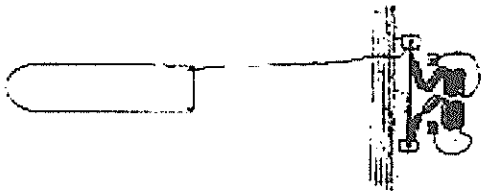

図－２０　運用試験現地資機材配置イメージ

沁みこませたウエスで拭く．

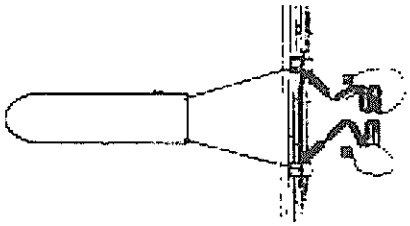
①ウエイトにロープを縛り付ける



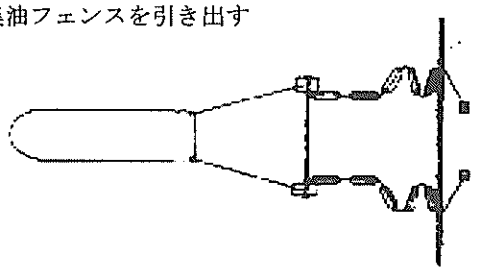
②集油フェンスの幅を決める



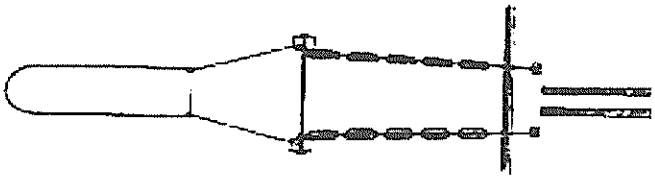
③集油フェンスをボートに結ぶ



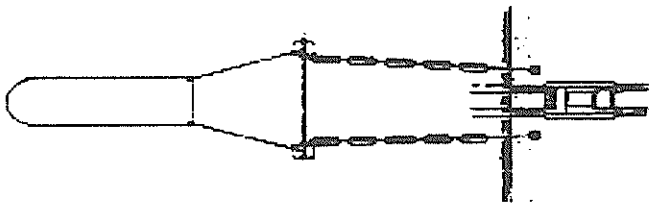
④集油フェンスを引き出す



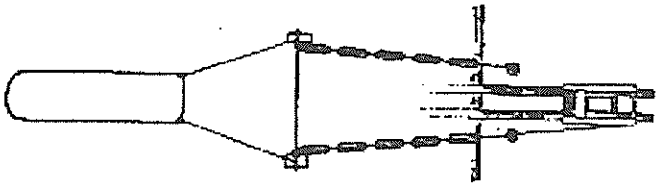
⑤集油フェンスを十分引き出した状況



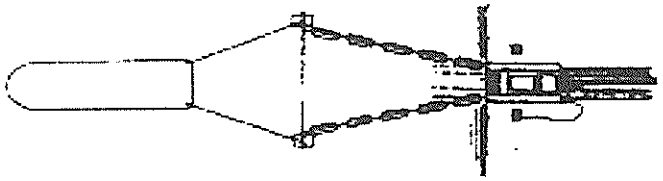
⑥スキマーをコロなどを介して進める



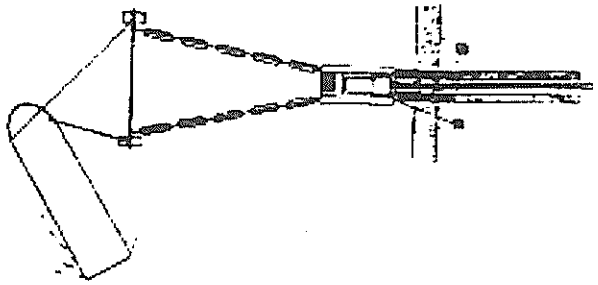
⑦スキマーをウエイトに仮留めする



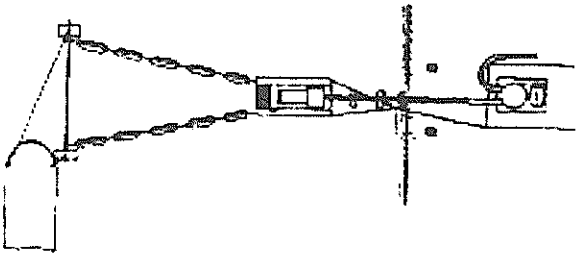
⑧スキマーとフェンスを接続する



⑨スキマーを押し出す



⑩進水完了



図－２１　スキマー部進水手順イメージ

④不整地用運搬車または手持ちにて主要機器をトラックへ運ぶ.

⑤電気ケーブルを簡単にウエスで拭き，シートで覆ってトラックへ運ぶ.

⑥ホース類は外面の汚れが激しいので高圧水で洗浄する.端末をウエスで覆うこと.

⑦油スキマーを引き上げるためのローラーコンベア及び足場板を水際に敷く.
⑧油スキマーを不整地用運搬車の力を借りながら引き上げる.
⑨集油フェンスをはずし，油スキマーを高圧水で洗浄する.
⑩油スキマーを不整地用運搬車で道路まで運びトラックに搭載する.
⑪集油フェンスを高圧水で洗浄してからシートで覆い，トラックに搭載する.
⑫モーターボートの舷側を水洗いし，港または船揚場等に回航する.
⑬ホース類をトラックに搭載する.

### 7.4 運用試験の結果

(1)概要

実験は平成12年9月28日と29日の2日間にわたって新潟市栄町地先海岸で行った.28日は強風と高波のためスキマーを進水させることを見送った.29日は風波も収まって，油スキマーを海上まで引き出す一連の作業ができた.なお現地は離岸提の設置された海岸であり，28日天候は晴れ，風速10m／s，提内の波高は約50cmであった.29日は天候晴れ,風速2m／s,提内の波高は約10cm

表－9　現地運用実験　時間計測結果

| 作業内容 | 9月28日 | 9月29日 | 備考 |
|---|---|---|---|
| 不整地車往復 | | | |
| 1回目 | 3分20秒 | 手持ち | ウエイト、ホース等 |
| 2回目 | 5分40秒 | 手持ち | 足場板、ケーブル等 |
| 3回目 | 8分55秒 | 8分40秒 | 油スキマー |
| 4回目 | 6分59秒 | 5分16秒 | 油圧パワーユニット |
| 5回目 | 11分6秒 | 4分50秒 | 制御盤 |
| 6回目 | 4分 | 2分55秒 | 排送用ポンプ |
| 小計 | 40分 | 21分41秒 | |
| 油スキマー進水 | 8分23秒 | 6分10秒 | |
| 手持ち運搬、配管、配線等 | 7分37秒 | 24分5秒 | |
| 合計準備時間 | 56分 | 51分56秒 | |
| | | | |
| 撤収作業時間 | 37分 | － | |

であった．実験の状況を図－22に示す.

人力作業のため,50cm程度の波でも作業は中止せざるを得ないが，本システムの目的としては，人力作業の機械作業への置き換えであり，波の条件が厳しい場合の作業形態についてはまた別途研究開発する余地がある.

展開，撤収作業のあと，作業員からは作業に関する意見等を感想の形で取っている.

(2) 運用試験の時間計測結果

運用試験の時間計測結果を表－9に示す．大まかに分析すれば，設置に約52～56分，撤去に37分かかっている．撤去は油で汚れた本体を洗浄するという作業が含まれていないが，少なくとも設置は1時間弱で可能とみられる．本システムは現地稼働時間を6時間とみて1日約30m$^3$の油水を高濃度な状態でピット等まで回収,排送するものとしており，時間的には十分な稼働時間を取れることがわかった.

(3) 人力による機動力の評価

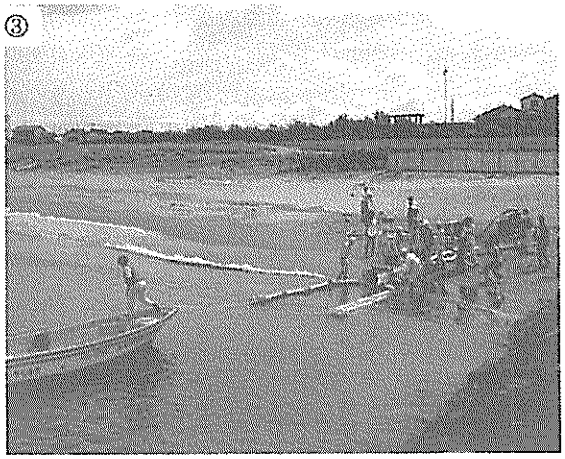
油スキマーの進水作業は人力で行うことに成功した.ただし，作用員の感想からは，遠浅な海岸ではより喫水の浅いものが望ましいとあった．また，集油フェンスのスカート部が若干引き出しに抵抗になっていたものと考えられる．油回収用ホースはワンタッチカップリングを用いて作業の容易さに配慮したが，これについては好評であった．対して，レンタル品である発電機と，制御盤の接続についてもワンタッチ式にすべきであるとの要望が出た.

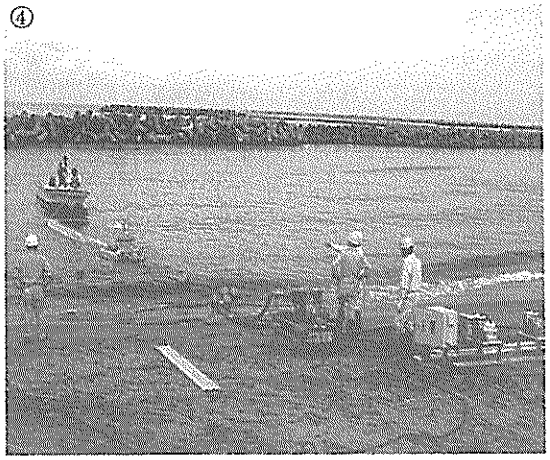
作業員については，運用も含めて8人の人員で可能であり,交代等を考慮しても人員は10人程度で運用可能であることがわかった．感想からは若干もう少し作業員が欲しい場面もあったとみられるが，システム全体が約150人分の能力を持つことから，所期の目的である沿岸域での油回収作業の機械化による効率化と，海岸での機動力の発揮というコンセプトが実証できた.

## 8. 結論

本システムの研究開発は平成10年度～13年度の4年間にわたって行った．個々に用いた技術は工学的に斬新なものではないが，当初から目的とした渚など浅海域での人力作業であるひしゃくとバケツリレーによる回収作業を機械化すること及び，重機を用いずに設営できる機動力を持つシステムであること，そして誰の目にも分かりやすく，現場のいわゆる人間系の能力を活かしやすいこと，といったコンセプトを守り，達成できた.

また，一般的な製品が対象としている常識的な粘度の範囲を逸脱した50万cP以上のゴミ混じりの高粘度油に対応するために，ネット式のコンベア，レーキ式かき寄



図－22　運用試験状況写真

①：不整地運搬車によるスキマーの運搬，②：進水の準備，③：進水作業，④進水の完了，⑤：全景

せ装置，注水装置による管路の詰まり防止など各部の機

構のアセンブリが全体として非常に高い効率性と能力を発揮する結果につながった．

さらに，現地での運用について実験を通じた評価を行うことにより，システム全体が初期の目的を果たすことができることを証明できた．

## 9. あとがき

ナホトカ号事故からはや4年が経過し，この間油回収器を搭載した新たな油回収兼浚渫船の就航や回収資機材についてのさまざまな提案，開発がなされた．しかしながら，海岸部での浅海域で使用する本システムのコンセプトを持った回収システムは類例がない．

ナホトカ号事故においては冬の日本海ということもあり，回収資機材が高波浪により使用できないことが問題点のひとつとして挙げられた．しかし海岸部での回収作業は人力が主で行われており，ヒアリングなどでも回収作業が行える海象条件の日に一気に油を取りたいが，効率のいい回収資機材がないことが問題であることがわかった．このため本システムの使用条件としては人力作業ができるレベルの海象条件で問題なく使用できることとしている．

こうした条件設定はシステム全体をコンパクトに開発しやすいものとすることに貢献している．これはシステムの中での人間系の役割を大きくすることができるために機械系の負担が軽くなったためである．

依然として高波浪条件での回収作業が可能な機器の開発要請は強いが，技術的には一気に困難な課題が噴出してくる．たとえば，波の荒い状況下では対象とする浮流油自体がまとまりを失って海面および一部は海中に散らばってしまうため，集油することも対象油を探すことも難しくなる．また，集油ブームについても高波浪下では強力な波力による引張り力を受けるため，これに対処する方法および船の場合は操船技術が必要になる．また，回収資機材自体の耐波性能が問われるため，スキマー部が大型化したり特異な形状を求められたりするが，これらは本質的には油を海面から掬い取るという機能に寄与するものではない．こうしたことから本システムでは人力回収時の効率性の飛躍的向上を目的とした．

今後は高波浪時への対処についての研究開発を検討するが，人力の寄与分をほとんどなくすることが前提となるため，自動化システムとなる．このため機械系には「判断」をする能力およびさまざまなセンサの搭載が必要になり，システムは高度になると考えられる．

なお，本システムの油水回収能力は最大で5m³/hであるが，これは油が集油フェンス内に一面に存在する場合であり，実際の現場においてはそうした状況を得られるように油を集める工夫が必要になる．こうした面での運用についてさらに研究開発することによって，本システムの有効性が高まるといえる．なお，現場での回収時の環境により回収資機材の性能は大きく左右されることが現場を担当する専門家等から指摘されるところであり，本システムのスキマー部についてもこれを少しでも避けるため，水槽実験ではペレット等ではなくC重油をエマルジョン化した供試油を用い，実サイズの機材に対して波をかけた状態で行っている．しかしながら，現場においては潮流，風の影響および低水温による油の性状の変化など環境のファクターは多く，こうした状況を一つでも多く再現できる実験が必要である．

本システムについては工事会社等による運用が簡単にできることから，広報などを通じてひとつでも多くの実配備を願うところである．

また，本研究を通じて得られた「超高粘度油」に対する小型回収機のノウハウは，船舶搭載型システムへの応用，油回収専用ポンプの開発など様々な局面への適用が可能であり，沿岸域管理のためのツールのひとつとして今後も研究開発を続けていくこととしている．

（平成14年11月15日受付）

## 謝辞

本研究において，多くのアドバイスをいただいた金沢大学石田先生，海上災害防止センター月野氏，（社）日本作業船協会工藤氏，㈱海洋開発技術研究所城野氏に感謝申し上げます．

また，多くの情報をご提供いただいた北陸地方整備局新潟技術調査事務所及びその前身である新潟機械整備事務所，近畿地方整備局神戸技術調査事務所及びその前身である神戸機械整備事務所，さらに現地実験の場所を快く提供いただいた新潟港湾空港工事事務所に厚く御礼申し上げます．

最後に本システムの設計製作及び実験作業でご尽力いただいた三井造船㈱及び三井造船鉄構工事㈱辰口氏に感謝いたします．

## 参考文献

1) 運輸省港湾技術研究所，日本海難防止協会（1998）：「漂流油回収技術研究調査報告書」，pp73

2) シップアンドオーシャン財団（1997）：「大規模油流出

事故の初期対応に関する調査研究（まとめ）」, pp13-32
3) 月野良久(1997):「流出油防除資機材の現状と問題点」, 第 16 回海洋工学パネル, pp30-39
4) 吉江宗生(1999):「浅海域油回収システム」, (社) 日本作業船協会, 作業船第２４４号, pp14-19
5) 珠洲市(1998)「珠洲市ロシアタンカー重油流出災害記録—美しい海岸が甦るまで」pp30-33
6) 運輸省第三港湾建設局神戸機械整備事務所, (社) 日本作業船協会(1998):「高粘度流出油回収装置の開発に関する調査研究報告書」
7) 国土交通省港湾技術研究所機械技術部, (社) 日本作業船協会 (2001):「浅海域油回収システム運用試験調査報告書」綴込み付録